Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg. Bull. K. Belg. Inst. Nat. Wet.	43	34	Brux. 30.11.1967

RECHERCHES SUR L'ECOSYSTEME FORET

SERIE B : LA CHENAIE MELANGEE CALCICOLE DE VIRELLES-BLAIMONT

Contribution n° 10

Rayonnement global sous le couvert en phase défeuillée (1)

PAR

Jean GRULOIS et Georges SCHNOCK (Genval)

(Avec un dépliant)

SOMMAIRE.

1. — INTRODUCTION.

La présente note résume les résultats de mesures effectuées durant l'hiver 1964-1965 en vue de déterminer le climat de rayonnement reçu sous le couvert d'une chênaie - charmaie - hêtraie, un peu au-dessus du tapis herbacé (Station écologique de Virelles-Blaimont).

(1) Programme du Centre d'Ecologie Générale (Bruxelles), subventionné par le Fonds de la Recherche fondamentale collective.

Les études relatives à la pénétration du rayonnement énergétique sous le couvert forestier poursuivies jusqu'ici par divers chercheurs ont été réalisées à l'aide d'appareils différents et variés quant à la surface de réception et au domaine spectral de réponse. Mentionnons les travaux de NÄGELI, W. (1940), ROUSSEL, L. (1952), OVINGTON, J. D. et MADGWICK, H. A. I. (1955), VEZINA, P. E. (1961, 64, 65), MITSCHERLICH, G. *et al.* (1966) concernant les peuplements résineux et feuillus caducifoliés.

Les facteurs qui influencent le montant du rayonnement de courtes longueurs d'ondes sous le couvert forestier sont multiples : station écologique et notamment exposition et inclinaison, proportion entre le rayonnement solaire et le rayonnement du ciel et des nuages, densité, homogénéité et élévation du couvert végétal, phénophases des strates arborescentes et arbustives.

Pour tenter d'analyser le processus d'extinction du rayonnement de courtes longueurs d'ondes au travers des cimes jusqu'au sol, nous pouvons supposer uniformes et homogènes la densité et la répartition des écrans ou obstacles à la pénétration du rayonnement.

L'interception du rayonnement serait alors exponentielle (loi de Beer) et prendrait la forme :

$$I = I_0 e^{-k.L}$$

où :

I = rayonnement reçu sous le couvert d'épaisseur L;
I_0 = rayonnement incident;
L = épaisseur du couvert homogène;
k = coefficient d'extinction.

Or, en forêt, les surfaces supérieures de réception du rayonnement sont constituées par le feuillage, les rameaux et les troncs. A leur niveau et au moment de l'impact, se produisent d'importants phénomènes de réflexion, d'absorption et de transmission. De plus, la répartition du couvert permet de localiser deux zones à forte densité d'obstacles : les cimes (de 8 à 16 m) et les strates arbustive et herbacée (de 0,0 à 1,5 m).

L'extinction du rayonnement global n'est donc pas uniforme et peut être représentée par une séquence de deux courbes exponentielles distinctes, la zone intermédiaire des troncs (de 1,50 m à 8 m) n'amenant pratiquement aucune déplétion du rayonnement (fig. 1).

En phénophase feuillée, une recherche récente a permis de vérifier la première partie de la courbe et de déterminer le montant du rayonnement (environ 10 %) qui frappe les surfaces foliaires des strates arbustives et herbacées (GRULOIS, J., 1967).

Celui-ci dépend quantitativement des facteurs repris ici plus haut, mais qualitativement, les phénomènes complexes de réflexion et de transmission au niveau des surfaces foliaires et corticales font en sorte qu'à la

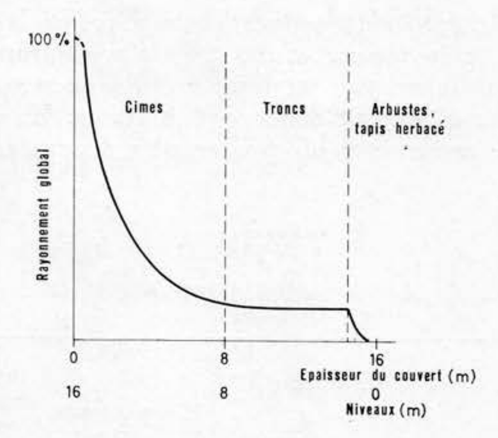


Fig. 1. — Extinction du rayonnement global sous le couvert forestier.

hauteur des deux strates inférieures, le rayonnement comprend une proportion de rayonnement diffus voisine de 100 %.

Durant l'hiver, en phénophase de défeuillaison, les surfaces de réception sont réduites aux surfaces corticales et aux surfaces foliaires herbacées. La proportion de rayonnement parvenant au niveau des strates inférieures est beaucoup plus élevée qu'en phase de feuillaison et peut comprendre une proportion plus élevée de rayonnement provenant directement du disque solaire.

2. — DESCRIPTION DES SURFACES ETUDIEES.

2.1. — Peuplement.

La chênaie mélangée étudiée s'étend sur un plateau orienté d'ouest en est, à l'altitude de 245 m et s'est développée sur un sol brun calcaire superficiel. Le tableau 1 résume les différentes caractéristiques de la strate arborescente du peuplement étudié.

Le couvert de la strate arborescente, dense et régulier, comporte néanmoins quelques petites trouées irrégulièrement réparties.

Des mesures effectuées il y a une quinzaine d'années par GALOUX, A. (1953) dans ce peuplement ont donné des index foliaires simple face variant entre 3 et 4. En première approximation et en attendant des valeurs mieux établies encore, on peut se rendre compte que le couvert peut être ramené à trois ou quatre écrans composés d'une multitude d'éléments (environ 25.000.000 feuilles/ha) orientés plus ou moins perpendiculairement au rayonnement et disposés en chicane entre les niveaux 18 et 8 mètres.

De plus, un échantillonnage récent nous a permis d'évaluer les surfaces corticales de la ramure et des troncs à une superficie de 2 ha par ha de terrain. Le montant total des surfaces de réception des strates ligneuses feuillées s'élèverait donc de 8 à 10 ha. En hiver, la disparition des feuilles amène une réduction sensible des surfaces de réception.

TABLEAU 1.

Caractéristiques du peuplement.

Essences	Tiges par ha		Hauteur totale (m)	Surf. foliaire approxim. (m^2/ha) d'après A. GALOUX)	Surf. corticale approxim. (m^2/ha)
	Nombre	%			
Chêne	196	12,7	10-19		
Hêtre	101	6,5	10-21		
Erable champ.	73	4,7	6-7 (17-18) (*)		2 ha
Charme	1.158	74,3	6-7 (17-18) (*)		
Divers (cerisiers, coudriers, tremble, érab. sycomore, sorbier)	30	1,8			
Total	1.558	100,0		30.043 (**)	20.000

(*) Dominants.
(**) Simple face.

La strate arbustive du peuplement, claire et irrégulière, se compose d'aubépine, de charme, coudrier, cornouiller sanguin et de quelques semis de frêne tandis que la strate herbacée à base de *Hedera helix* et *Lamium galeobdolon* a un degré de recouvrement très élevé (voisin de 100 %).

2.2. — Aperçu climatologique.

Les principales données climatiques pour la période d'observation sont reprises au tableau 2.

TABLEAU 2.

Données écoclimatologiques (1965) mesurées à la station de Virelles-Blaimont.

Mois	Temp. moyenne sous abri (2 m) sous couvert (°C)	Précipitations à découvert (mm)	Rayon. Soleil + ciel à découvert surf. horiz. (cal./cm²)	Types de temps (nombre de jours)		
				Serein	Nuageux	Diffus
Janvier :						
2e décade	3,1		514,3	—	4	6
3e décade	1,4		679,5	2	2	7
Mois	2,3	128,9	1.607,9	2	10	19
Février :						
1re décade ...	0,7		1.000,5	1	6	3
2e décade	0,0		1.542,4	1	8	1
3e décade	– 1,0		1.462,7	2	5	1
Mois	– 0,1	28,3	4.005,6	4	19	5
Mars :						
1re décade ...	– 1,1		2.009,2	1	6	3
2e décade	6,6		2.290,0	2	5	3
3e décade	7,9		3.307,0	3	8	—
Mois	4,6	60,0	7.606,2	6	19	6

A titre d'information et ce, pour une période continue allant du 11-I-1965 au 9-II-1965, nous donnons à la figure 2 ci-dessous, en plus des résultats bruts des pyranomètres, le rayonnement global reçu par cm² de surface horizontale mesuré à l'aide d'un actinographe bimétallique Robitzsch. A partir des diagrammes d'enregistrement, nous avons classé sommairement les journées de rayonnement de la manière suivante :

S : ciel serein, nébulosité nulle ou très faible;
N : ciel nuageux avec éclaircies;
D : ciel couvert, très nuageux, aucune éclaircie.

D'après cette répartition, au cours des trois mois considérés, nous avons obtenu un pourcentage moyen de chacun des types de journées de rayonnement. Les jours d'observation que nous avons retenus gardent approximativement la même distribution que celle de ces pourcentages.

Période	Serein	Nuageux	Diffus
Janvier, février, mars (90 jours)	13 %	53 %	34 %
Jours d'observation (45 jours)	17 %	49 %	34 %

3. — METHODOLOGIE.

3.1. — Appareillage.

Le rayonnement a été mesuré au moyen de pyranomètres sphériques Bellani (type à couverture métallique) mis au point et construits à l'observatoire physico-météorologique de Davos. Ces pyranomètres mesurent une fraction spectrale (de 0,3 à 3 μ) du rayonnement qui atteint un point exposé à l'air libre et provenant du soleil, du ciel, des nuages, des régions environnantes et du sol; les appareils totalisent donc la somme journalière du rayonnement qui s'exprime en unités calorifiques par unité de surface de réception sphérique (cal/cm^2), c'est-à-dire le rayonnement qui atteint une sphère librement exposée de 1 cm^2 de surface.

En vue d'obtenir des valeurs numériques représentatives de ces sommes journalières du rayonnement, il est nécessaire d'installer les appareils dans un endroit caractéristique du milieu que l'on désire étudier.

3.2. — Emplacement des appareils.

Le pyranomètre de Bellani est fixé sur un poteau en bois au moyen d'un statif métallique. L'extrémité supérieure de l'appareil se trouve à environ 1,65 m au-dessus du sol. Le dispositif de fixation doit être placé au nord de l'appareil, c'est-à-dire dans une direction telle qu'il ne puisse se produire de réflexion sur les sphères.

Nous disposions de quatre pyranomètres pour mener cette étude. Trois d'entre eux ont été placés dans des situations caractéristiques et sous les différentes espèces dominantes du peuplement, soit respectivement :

Pb 2 — Situé à 1,50 m du tronc couvert de mousses et de lichens épiphytes d'un chêne, au-dessus de la strate herbacée formée à 75 % de recouvrement de *Hedera helix*, le reste de celle-ci

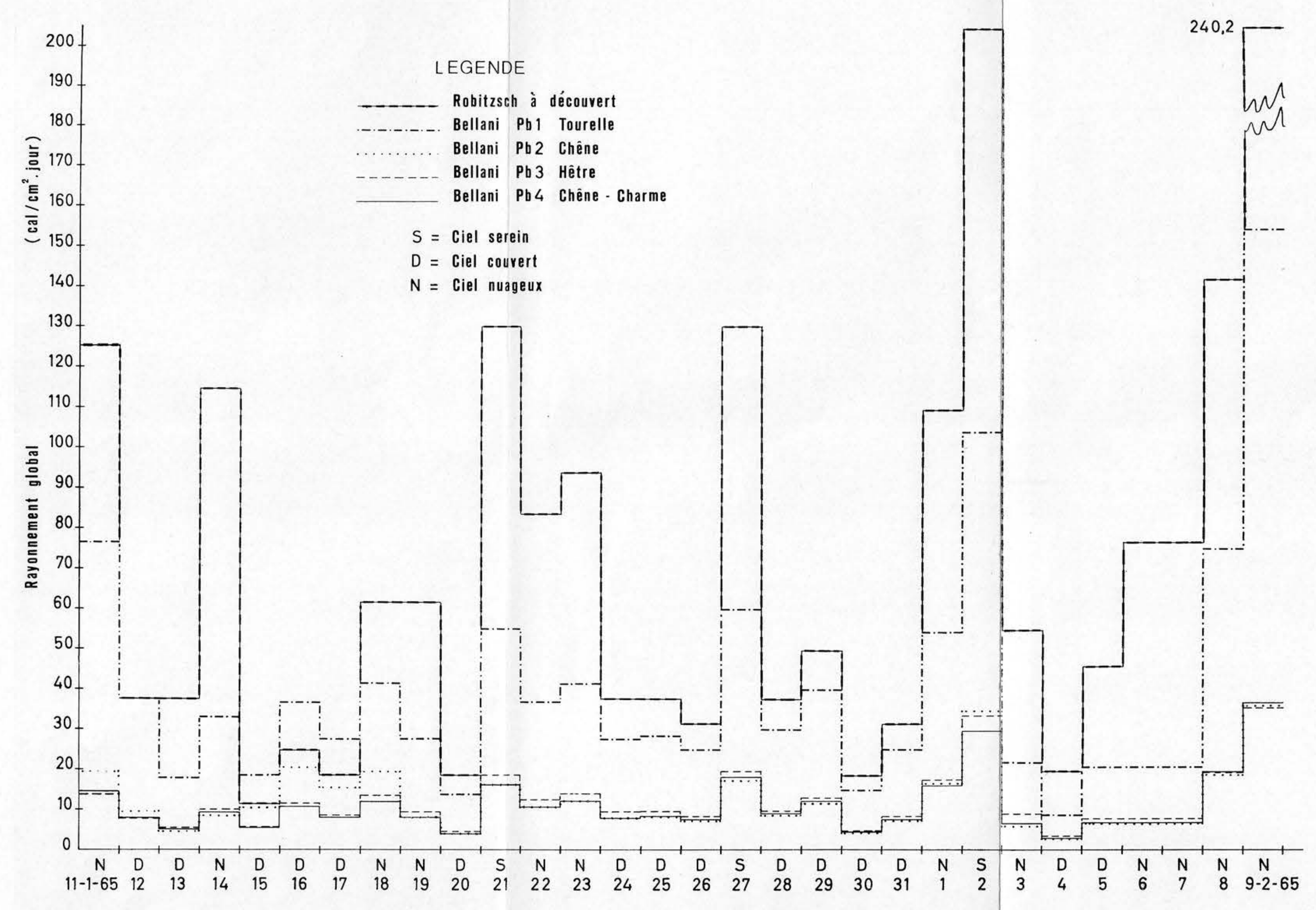


Fig. 2. — Variation du rayonnement global incident reçu à découvert (surface horizontale et surface sphérique) et du rayonnement global reçu sous différentes variantes de couvert forestier (surface sphérique) (du 11-I-1965 au 9-II-1965).

étant constitué par des feuilles mortes brunes de *Quercus* et *Carpinus*.

Pb 3 — Situé à 2,80 m du tronc grisâtre d'un hêtre, au sud-est d'une petite trouée de 0,2 are, même strate herbacée que le précédent, régénération naturelle du hêtre, charme, érable, etc... de 10-15 semis par m^2.

Pb 4 — Situé à 2,00 m du tronc couvert de mousses d'un érable et à 4,00 m du tronc gris-noir d'un charme : la strate herbacée est composée à 50 % de *Hedera helix*, et à 50 % de feuilles mortes et brunes.

Le quatrième pyranomètre Pb 1, monté sur un support horizontal a été installé au sommet d'une tourelle de 20 m de hauteur. A l'époque des relevés, il surmontait donc de 3 à 7 m les cimes gris-foncé des chênes et des charmes et était situé à environ 1 m des éléments tubulaires peints en blanc de la tourelle. En plus du rayonnement global incident, cet appareil recevait donc aussi l'albedo de la forêt en phase hivernale.

Pour la mesure du rayonnement à découvert, nous avons préféré installer le pyranomètre de référence au-dessus de la forêt étudiée plutôt que de l'installer dans la station écoclimatologique sur pelouse distante à vol d'oiseau d'environ 2 km de la station de forêt. Outre le coefficient d'albedo, la nébulosité et l'ensoleillement légèrement variables d'une station à l'autre auraient pu amener des différences.

3.3. — Epoque des mesures.

Les mesures ont été effectuées pendant la phénophase hors feuilles; elles ont débuté le 11 janvier 1965 et se sont poursuivies jusqu'au 31 mars de la même année; elles ont été interrompues périodiquement pour des raisons que nous exposerons plus loin et ne portent que sur un total de 45 jours.

3.4. — Utilisation des données et correction des facteurs d'étalonnage.

Le facteur d'étalonnage des appareils n'est pas uniformément constant, il dépend notamment des conditions climatiques de la station (température et vitesse du vent) et du niveau atteint par l'alcool dans le tube gradué.

La correction due à la température de l'air suit une fonction simple et régulière, elle est aisément obtenue à l'aide des températures moyennes mensuelles de l'air sous abri (2 m). En ce qui concerne les deux autres sources de variation du facteur d'étalonnage, nous avons estimé, dans

nos conditions expérimentales, qu'elles n'entraînaient pas d'erreurs supérieures à 2 %.

De sorte que l'erreur finale commise lors de la détermination de chaque somme journalière de rayonnement est en moyenne inférieure à 3 %.

D'autre part, les dépôts de neige ou de givre qui se forment occasionnellement sur le sommet des sphères peuvent également fausser les mesures de rayonnement. Les journées où ces phénomènes se sont produits ont été éliminées.

4. — RESULTATS.

Les résultats sont exprimés soit en unités absolues (cal/cm^2.jour), soit en % du rayonnement reçu à découvert (rayonnement relatif journalier) et ce, pour chaque essence.

4.1. — Distribution du rayonnement journalier à découvert.

L'histogramme de la figure 3 donne une idée de l'importance du rayonnement incident pour la période considérée, les données permettent de voir que la plupart des observations ont porté sur des journées à rayonnement diffus. L'élimination des journées où les pyranomètres étaient couverts de givre a aussi faussé le nombre de ces journées, puisqu'elles étaient aussi du même type, c'est-à-dire à ciel couvert et à forte nébulosité.

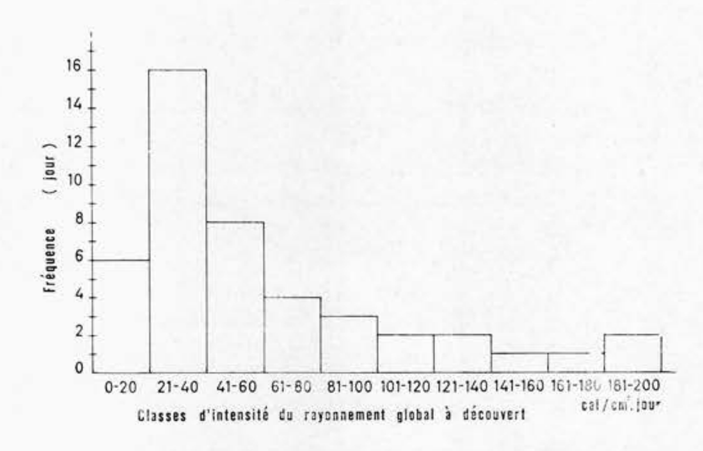


Fig. 3. — Histogramme de distribution de fréquence du rayonnement incident à découvert.

4.2. — Rayonnement reçu sous le couvert.

Durant cette période, le pourcentage moyen du rayonnement relatif sous le couvert varie de 30 à 33 % pour les trois appareils; il semble

tendre vers un pourcentage moyen de 30 à 35 % à mesure que le rayonnement à découvert augmente (cfr. figure 4).

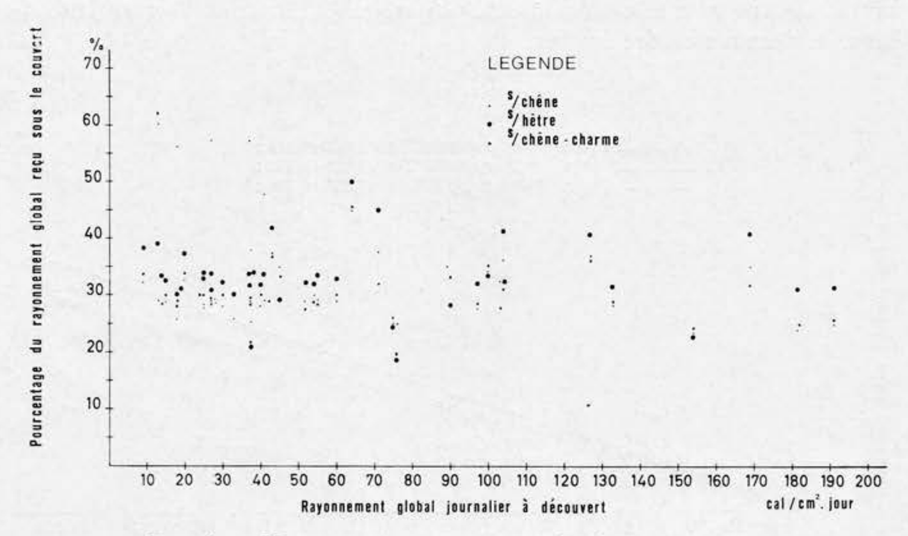


Fig. 4. — Variation du rayonnement global sous le couvert en fonction du rayonnement global à découvert.

Par ailleurs, la nature du couvert arborescent ne se marque pas nettement. Seuls les pourcentages maxima sous hêtre (50,5 %) sont plus faibles que ceux sous chêne (60,3 %) et chêne-charme (62,7 %), bien que cette remarque ne soit valable que pour les journées à faible rayonnement (inférieur à 80 cal/cm².jour).

Les pourcentages de rayonnement ne paraissent pas liés à l'intensité du rayonnement à découvert; cependant, tous les pourcentages maxima se présentent pour des journées à rayonnement diffus caractéristique. Ceci laisse supposer que, plus le rayonnement à découvert est faible, plus il pénètre à l'intérieur du couvert des peuplements forestiers; en d'autres termes, le rayonnement du disque solaire qui pénètre obliquement au travers des cîmes est plus fortement réduit que le rayonnement du ciel ou des nuages. Ceci confirme les observations de VEZINA, P. E. (1964-1965) et de MITSCHERLICH, G. *et al.* (1966).

4.3. — Rayonnement reçu sous le couvert comparé au rayonnement reçu au-dessus du couvert.

Les valeurs journalières du rayonnement global à découvert et sous le couvert des différentes essences sont représentées à la figure 5.

La somme journalière de rayonnement reçu sous le couvert augmente à mesure que le rayonnement s'accroît à découvert. Pour un accroisse-

ment de 100 cal/cm² à découvert, cette augmentation est de 27 cal/cm² sous-chêne et sous chêne-charme, tandis qu'elle est de 33 cal/cm² sous hêtre, d'autre part elle est d'autant plus régulière que les valeurs journalières à découvert sont faibles.

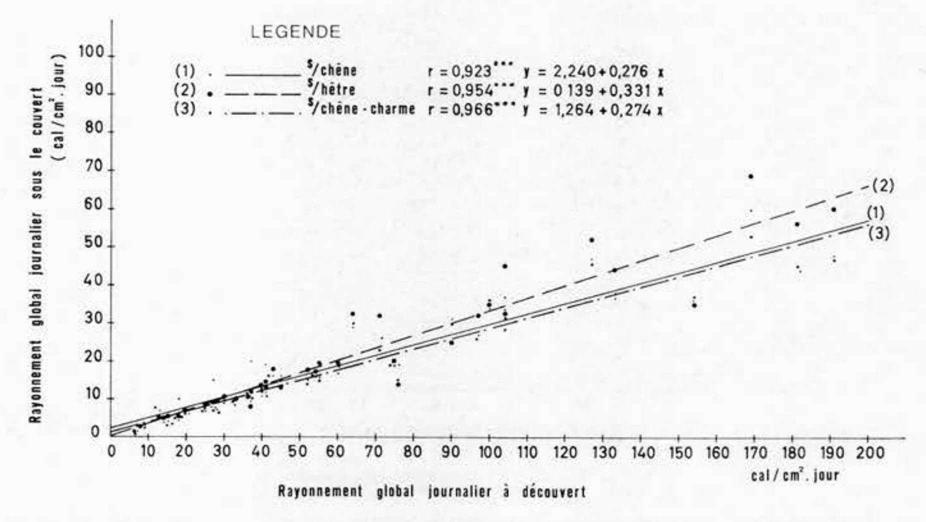


Fig. 5. — Relation entre les valeurs de rayonnement global à découvert et sous le couvert, suivant la composition botanique de la strate arborescente.

Les régressions entre les montants journaliers de rayonnement à découvert et ceux sous le couvert sont caractérisées par des coefficients de corrélation dont l'ordre de grandeur est lié au degré d'ouverture du peuplement. En effet, plus un peuplement est ouvert, plus la valeur du coefficient de corrélation est élevé (BRECHEEN (1951) dans VEZINA, P. E. et PECH, G. Y. (1964). Les valeurs obtenues ($r \geqslant 0{,}923$) fournissent donc une estimation du degré d'ouverture de la forêt durant la phénophase de défeuillaison.

L'étroite liaison linéaire qui existe entre le rayonnement sous le couvert et celui à découvert permet de voir que les quantités de rayonnement reçues sont plus importantes sous hêtre que sous les autres essences, cette différence va en s'accentuant avec l'augmentation du rayonnement à découvert.

Par ciel serein ou nuageux, les petites trouées dues à l'inégale répartition des cimes créent des plages ensoleillées où le rayonnement du disque solaire peut arriver directement. Bien que ces plages soient mobiles au cours de la journée, elles définissent des zones dont l'éclairement préférentiel explique un tapis herbacé plus luxuriant et l'installation de semis naturels d'espèces ligneuses diverses.

Ainsi, dans la trouée proche de l'appareil placé sous hêtre, l'installation de quelques semis de hêtre, charme, érable (10-15/m²) peut s'expliquer

par un microclimat particulier, bien que l'implantation d'une régénération naturelle soit la résultante de bien d'autres facteurs tels que la compétition radiculaire, la variabilité des semences, l'activité animale comme le font remarquer OVINGTON, J. D. et MADGWICK, H. A. I. (1955).

5. — CONCLUSIONS.

Des mesures intégrées du rayonnement circumglobal ont été réalisées au moyen de pyranomètres sphériques de type Bellani au-dessus et au-dessous du couvert dans une chênaie-charmaie-hêtraie de 16 à 21 m de hauteur totale et de densité moyenne, en période défeuillée.

1) Les valeurs du rayonnement circumglobal obtenues sous le couvert augmentent lorsque le rayonnement à découvert s'accroît. Le climat de rayonnement sous le couvert à 1,65 m du sol varie d'un point à un autre de 30 à 33 % de celui qui est réalisé au-dessus du couvert. L'interception du rayonnement exercée par l'ensemble des ramées et des troncs s'élève à 67-70 %.
2) L'ambiance radiative au-dessus du tapis herbacé est relativement homogène en phénophase hivernale hors feuilles.
3) En période de rayonnement diffus, la proportion de rayonnement reçue sous le couvert est légèrement plus élevée que celle qui est reçue par temps d'ensoleillement. Le rayonnement du disque solaire à incidence oblique, subit une interception relativement plus grande que le rayonnement du ciel et des nuages.
4) La régression du rayonnement sous couvert sur le rayonnement au-dessus du couvert est linéaire et est caractérisée par des coefficients de corrélation élevés (0,923; 0,954; 0,966).
5) Le taux de 30-33 % correspond à un climat radiatif suffisant pour assurer une grosse partie du cycle biologique de géophytes tels que *Scilla bifolia*, *Narcissus pseudonarcissus*, *Anemone nemorosa* qui commencent à former leurs fruits et leurs graines avant la feuillaison des strates ligneuses.

STATION DE RECHERCHES DES EAUX ET FORÊTS,
GROENENDAAL-HOEILAART.
SECTION DE BIOLOGIE FORESTIÈRE.

BIBLIOGRAPHIE.

GALOUX, A.

1953. *La chênaie sessiliflore de Haute Campine. Essai de Biosociologie.* (Trav. Stat. Rech. Groenendaal, série B, nº 8, 235 pp.)

GRULOIS, J.

1967. *La chênaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont. Extinction du rayonnement global, tropismes et paramètres foliaires.* (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. Tome 100, pp. 315-334.)

MITSCHERLICH, G., MOLL, W., KÜNSTLE, E. und MAURER, P.

1966. *Ertragskundlich — ökologische Untersuchungen im Rein — und Mischbestand. II. Wind, Globalstrahlung und Bestandeshelligkeit.* (All. Forst. u. Jagd. Ztung. 136, pp. 249-257.)

NÄGELI, W.

1940. *Lichtmessungen im Freiland und im geschlossenen Altholzbestand.* (Mitt. Schweiz. Vers. Anst. f. d. Forstl. Versuchswesen. 21, (2), pp. 250-306.)

OVINGTON, J. D. and MADGWICK, H. A. I.

1955. *A comparison of light in different woodlands.* (Forestry, vol. XXVIII, n° 2, pp. 141-146.)

ROUSSEL, L.

1953. *Recherches théoriques et pratiques sur la répartition en quantité et qualité de la lumière dans le milieu forestier. Influence sur la végétation.* (Ann. Ec. Nat. des E. et F., XII, 2, pp. 295-400.)

VEZINA, P. E.

1961. *Variations in total solar radiation in three Norway spruce plantations.* (Forest Science, 7, pp. 257-264.)

1964. *Solar radiation available over a snow pack in a dense pine forest.* (Agr. Meteor, I, pp. 54-65.)

1965. *Solar radiation available below thinned and unthinned belsam fir canopies.* (Can. Dept. Foresty, Forest. Res. Branch Mimeo, 63, Q, 8, 12 pp.)

VEZINA, P. E. and PECH, G. Y.

1964. *Solar radiation beneath conifer canopies in relation to crown closure.* (For. Science, 10, pp. 443-451.)

AD. GOEMAERE, Imprimeur du Roi, 21, rue de la Limite, Bruxelles 3